

СИНТЕЗ И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

SYNTHESIS AND PROCESSING OF POLYMERS AND POLYMERIC COMPOSITES

УДК 678.067.5:532.135

DOI: 10.32362/2410-6593-2018-13-6-35-41

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КАБЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С НАПОЛНИТЕЛЕМ-АНТИПИРЕНОМ

А.Ю. Сватиков^{1,@}, И.Д. Симонов-Емельянов²¹ООО «Адитим», Москва 117342, Россия²МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва 119454, Россия[@]Автор для переписки, e-mail: anton.svatickov@yandex.ru

В настоящее время безгалогенные кабельные композиции получают все большее распространение в производстве кабельных композиций. Понятие «безгалогенный», или «ноль галогенов», становится символом трудной горючести, малодымности, малой токсичности летучих продуктов горения, отсутствия в летучих продуктах токсичного, коррозионно-активного и раздражающего дыхания газа – хлористого водорода и других галогеноводородов. Все больше производителей кабельной продукции начинает уделять внимание проблемам переработки, токсичности и пожарной безопасности. Необходимо отметить, что требования по повышению пожарной безопасности кабельных изделий постоянно ужесточаются, поскольку главной проблемой большинства подобных полимерных материалов является их горючесть, высокое дымообразование и высокая скорость распространения пламени. В связи с этим стоит острый вопрос по увеличению данных характеристик и доведения их до уровня компаундов на основе ПВХ. Основным способом по увеличению огнезащитных характеристик безгалогенных кабельных композиций является ввод в эти композиции минеральных наполнителей-антипиренов. Изучение состава и возможности упаковки данных минеральных наполнителей-антипиренов дает возможность повысить уровень огнезащитных характеристик безгалогенных кабельных композиций.

В работе представлены результаты исследований термостабильности кабельных композиций на основе смесей полиэтилена и сжиленного (ПЭ+СЭВА), содержащих в качестве наполнителя-антипирена кристаллогидрат гидроксида магния. Показано, что кабельные композиции, содержащие кристаллогидрат гидроксида магния, характеризуются более высокой термостойкостью и термостабильностью (примерно в 2 раза) по сравнению с полимерной матрицей на основе ПЭ+СЭВА, что позволяет их перерабатывать при высоких температурах (более 200 °C) методами экструзии и литья под давлением.

Ключевые слова: полиэтилен, сжиленный, полимерные композиты, антипирен, кристаллогидраты металлов, гидроксид магния, термогравиметрический анализ.

THE THERMAL STABILITY OF POLYMER CABLE COMPOUNDS WITH A FLAME-RETARDING FILLER

A.Yu. Svatikov^{1,@}, I.D. Simonov-Emelyanov²¹LLC «Aditim», Moscow 117342, Russia²MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia[@]Corresponding author e-mail: anton.svatickov@yandex.ru

Currently, halogen-free cable compositions are becoming increasingly common in the manufacture of cable compositions. The concept of halogen-free or “zero halogen” becomes a symbol of fire resistance, low-smoke characteristics, low toxicity of volatile products of combustion, the absence of the toxic, corrosive and irritating gas – hydrogen chloride – and other hydrogen halides in the volatile products. More and more manufacturers of cable products are beginning to pay increasing attention to the problems of processing, toxicity and fire safety. It should be noted that the requirements for improving the fire safety of cable products are constantly becoming tougher, since the main problem of most of these polymeric materials is their flammability, high smoke generation and high flame spread rate. In this regard, there is a burning question to increase these characteristics and bring them to the level of compounds based on PVC. The main way to increase the flame-retardant characteristics of halogen-free cable compositions is to introduce mineral fire retardants into these compositions. The study of the composition and packaging of these mineral fillers-flame retardants makes it possible to increase the level of flame-retardant characteristics of halogen-free cable compositions.

The paper presents the results of studies on the thermal stability of cable compositions based on PE + EVA mixtures containing magnesium hydroxide crystalline hydrate as a filler-flame retardant. It is shown that cable compositions containing magnesium hydroxide crystal hydrate are characterized by higher heat resistance and thermal stability (~ 2-fold) compared to a polymeric matrix based on PE + SEVA. This allows to process them at high temperatures (more than 200°C) by extrusion and pressure casting.

Keywords: polyethylene, ethylene-vinyl acetate copolymer, polymer compositions, fire retardant, crystal hydrates of metals, magnesium hydroxide, thermogravimetric analysis.

Введение

Снижение горючести полимерных материалов является одной из приоритетных задач полимерного материаловедения. Опасными являются не только распространение пламени и повышение температуры при горении полимерных материалов и, как результат, разрушение конструкций и изделий, но и выделение токсичных продуктов горения, что часто является основной причиной летального исхода.

Анализ физико-химических закономерностей процесса горения полимеров показал, что для снижения их горючести можно использовать вещества различной химической природы (антипирены), которые работают по следующим основным механизмам [1–4]:

- первый – термическое разложение с образованием жидких и газообразных продуктов (например, воды, галогеноводородов – HCl, HBr и др.), которые снижают температуру пламени при испарении и подавляют химические радикальные реакции в газовой фазе и процесс горения;
- второй – связан с увеличением коксового остатка материала при разложении и горении;
- третий – основан на разбавлении полимера и газообразных продуктов горения и отводе тепла за счет эндотермических реакций.

В настоящее время требования к пожарной безопасности кабелей с полимерной изоляцией диктуют новые правила, а именно: отсутствие выделения коррозионно-активных газов (хлористого водорода и др.). В связи с этим возрастает спрос на безгалогеновые (полиолефиновые) компаунды с антипиренами, не содержащими галогены. К этому классу

антипиренов для полимерных материалов относятся кристаллогидраты оксидов и гидроксидов металлов. Для достижения огнезащитных свойств полиолефиновых материалов обычно требуется введение в полимерные композиционные материалы (ПКМ) более 45% об. антипиренов-кристаллогидратов.

В условиях горения полимерных материалов при введении антипиренов – кристаллогидратов гидроксидов и оксидов металлов Al, Mg и Ca наблюдается их разложение при высоких температурах, увеличение содержания в газовой фазе паров воды и образование коксового остатка. Например, содержащие кристаллизационную воду кристаллогидраты, такие, как $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, при температурах горения полимеров выделяют воду, что сопровождается поглощением тепла и образованием парогазофазного облака. Это приводит к снижению температуры в зоне горения и подавлению пламени при горении [5].

Строение кристаллогидратов хорошо изучено, показано наличие различных форм кристаллизационной воды в некоторых кристаллогидратах, процессы выделения кристаллизационной воды при высоких температурах достаточно полно описаны в работе [6].

Наличие разных форм воды в кристаллогидратах оксидов и гидроксидов металлов приводит к ступенчатому процессу ее выделения при нагревании. Общее содержание воды в кристаллогидратах уменьшается в ряду: $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Температурный интервал разложения кристаллогидрата зависит от его природы и количества в нем молекул кристаллизационной воды (рис. 1) [6].

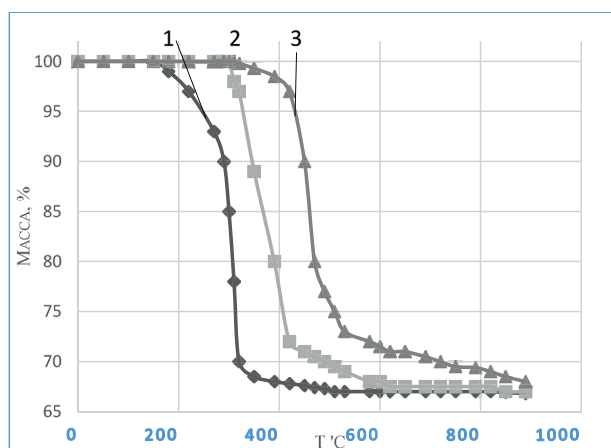


Рис. 1. Термогравиметрические кривые разложения кристаллогидратов металлов [6]:
1 – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2 – $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$; 3 – $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Термическое разложение гидроксидов металлов с выделением воды сопровождается поглощением тепла, $\Delta H > 0$ (эндотермическая реакция).

В табл. 1 приведены характеристики процесса разложения кристаллогидратов оксидов металлов [7; с. 169–170].

Таблица 1. Основные характеристики термического разложения кристаллогидратов

Характеристики	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$
Температура начала разложения, °C	190	320	430
Температура эндотермического пика, °C	270	420	530
Температура полного разложения, °C	320	500	560
Температурный интервал разложения, °C	130	160	130
Коксовый остаток, масс. %	67	67	71

Экспериментальная часть

В качестве полимеров матрицы использовали полиэтилен высокого давления марки ПЭВД 10803-020 (ГОСТ 16337-77/3) («Каустик», Россия) и Сэвилен марки 11708-210 с содержанием винилацетата 26–30% масс. («Нефтехим-сэвилен», Россия).

В работе исследовали две полимерные композиции (АПК-1 и АПК-2) для получения кабельной изоляции на основе смеси полимеров ПЭВД+Сэвилен с наполнителем-антипиреном $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$.

В составы композиций АПК-1 и АПК-2 вводили наполнитель-антипирен на основе $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ марки Фрамитекс 10-97 К1 (ТУ 2133-011-40705684-2005), модифицированный стеариновой кислотой (АПК-1), и Фрамитекс 10-97 В1 (ТУ 2133-011-40705684-2005), модифицированный винилсиланом (АПК-2), (ЗАО «Геоком», Россия).

Наполнитель-антипирен на основе $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ марки Фрамитекс 10-97 имеет следующий химический состав (% масс.): $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 98.48; SiO_2 – 1.30; Fe_2O_3 – 0.22. Его основные характеристики приведены в табл. 2.

Следует отметить, что кристаллогидрат $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ имеет наиболее широкий температурный интервал разложения (160 °C) и достаточно высокую температуру начала разложения (320 °C), что позволяет использовать его в качестве эффективного наполнителя-антипирена при получении ПКМ, причем в интервале температур переработки полимеров в изделия не происходит деструкции полимера-матрицы [8]. Так, для полиэтилена (ПЭ) температура начала разложения составляет 290 °C, а для сэвилена (СЭВА) – 320 °C. Кроме того, такие показатели, как белизна, низкая абразивность и регулируемая дисперсность дают неоспоримое преимущество кристаллогидратам $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ перед $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Широко используемый при создании полимерных композиций кристаллогидрат $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с температурой начала разложения 190 °C имеет существенные ограничения по температурам переработки ПКМ с более высокой температурой термостабильности полимера-матрицы [9–11].

В нашей работе представлены данные по результатам термогравиметрического анализа и определения времени термостабильности кабельных композиций на основе смесей ПЭ+СЭВА, содержащих в качестве наполнителя-антипирена $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ разных марок.

Таблица 2. Характеристики Фрамитекса 10-97

№ п/п	Характеристика	Фрамитекс 10-97
1	Гранулометрический состав:	
	остаток на сите 45 микрон (ISO 787/7), %	0.8–1.0
	максимальный размер частиц ($d_{98\%}$), мкм	74.1–80
	средний размер частиц ($d_{50\%}$), мкм	9.1–11
2	Белизна:	
	яркость по DIN 53163 (C/2 °), %	90
	белизна CIELab (C/2 °), %	96
3	Массовая доля воды и летучих веществ, % (на заводе)	0.11–0.24
4	pH водной суспензии	9.9
5	Твердость по шкале Мооса	2

Композиции АПК-1 и АПК-2 получали на смесителе «Брабендер» с объемом рабочей камеры 50 см³ при температуре смешения 190 °C, скорости вращения ротора 50 об./мин в течение 4 мин. Готовые

композиции измельчали на лабораторной роторной дробилке.

Составы полимерных композиций для кабельной изоляции приведены в табл. 4.

Время термостабильности образцов композиций ПЭ+СЭВА, АПК-1 и АПК-2 определяли на приборе ИИРТ при разных температурах [12–14]. За время

термостабильности (τ_T) композиций принимали время, в течение которого значения массы вытекающего экструдата при заданной температуре эксперимента изменялось не более, чем на 15%.

Термогравиметрические кривые получали на приборе Sigma Aldrich (США) при скорости нагрева 10 град./мин [15, 16].

Таблица 4. Рецепт полимерных композиций АПК-1 и АПК-2 для кабельной изоляции

№ п/п	Компонент	АПК-1, % об.	АПК-2, % об.
1	Полимерная матрица (полиэтилен + сэвилен)	44.64	42.63
2	Стабилизатор	0.36	0.35
3	Мел, CaCO_3	3.63	8.77
4	Стеарат кальция	0.36	0.35
5	Фрамитекс 10-97 К1	51.00	-
6	Фрамитекс 10-97 В1	-	47.90

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены зависимости массы экструдата композиций ПЭ+СЭВА и АПК-1 от времени прогрева при разных температурах (для АПК-2 данные не приведены).

По данным термостабильности при разных температурах были построены полные кривые термостабильности композиций ПЭ+СЭВА, АПК-1 и АПК-2 (рис. 3).

Термостабильность композиций на основе смеси ПЭ+СЭВА, АПК-1 и АПК-2 снижается с повышением температуры, и в области 230 °С она составляет от 8 до 19 мин. При этом введение наполнителя-антипирена в смесь ПЭ+СЭВА приводит к повышению времени термостабильности примерно в 2 раза.

При переработке полимерных композиций методом экструзии и литья под давлением время

термостабильности должно составлять не менее 10 мин ($\tau_T > 10$ мин). Композиции АПК-1 и АПК-2 удовлетворяют данным требованиям и могут перерабатываться в интервале температур 190–220 °С без термодеструкции.

О термоокислительной деструкции полимерных композиций, как правило, судят по данным термогравиметрии.

Термогравиметрические кривые полимерных композиций АПК-1, АПК-2, а также полимерной матрицы ПЭ+СЭВА, ее составляющих и кристаллогидрата $\text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ представлены на рис. 4.

В ходе анализа для композиции АПК-1, в которой содержание антипирена Фрамитекс 10-97 К1 (ТУ 2133-011-40705684-2005) составляет $\phi_n = 0.51$ об. долей, общая потеря массы после термического воздействия составляет ~80%, а для композиции АПК-2, в которой содержание антипирена Фрамитекс 10-97 В1

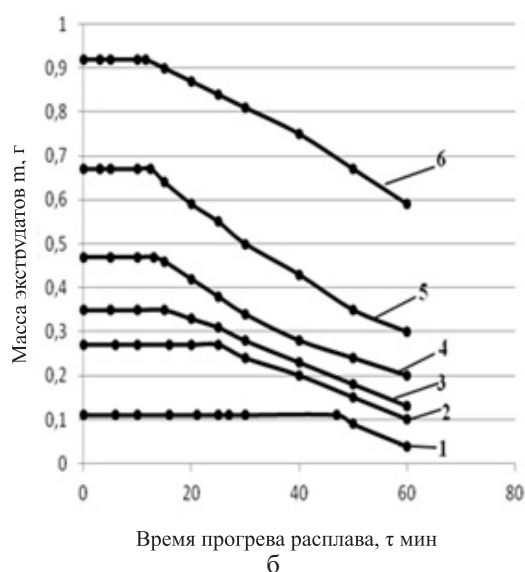
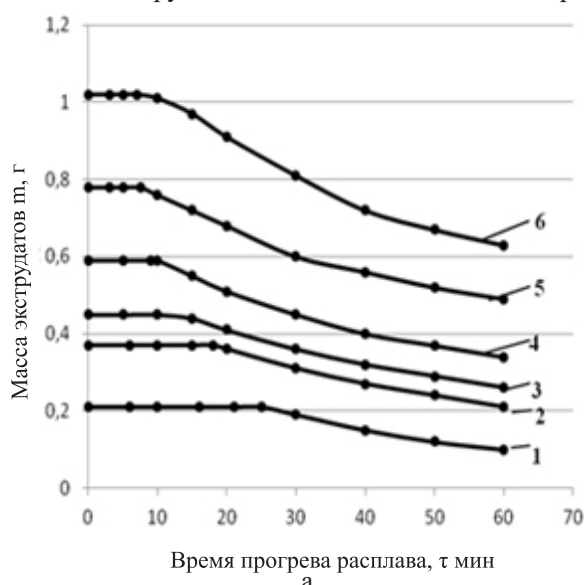


Рис. 2. Зависимость массы экструдатов для смеси ПЭ+СЭВА (а) и композиции АПК-1 (б) от времени прогрева расплава при разных температурах, °С: 180 (1), 190 (2), 200 (3), 210 (4), 230 (5), 250 (6).

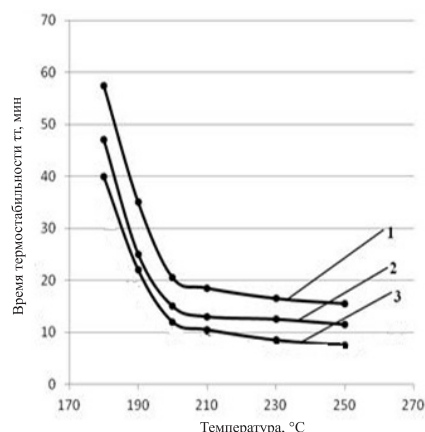


Рис. 3. Кривые термостабильности для композиций АПК-2 (1), АПК-1 (2) и полимерного связующего ПЭ+СЭВА (3).

(ТУ 2133-011-40705684-2005) составило $\phi_n = 0.479$ об. долей ($\Theta = 0.13$), общая потеря массы после термообработки составляет ~85%.

В ходе анализа термогравиметрических кривых установлено, что разложение композиций АПК-1 и АПК-2 по сравнению с полимерными матрицами ПЭ, СЭВА, ПЭ+СЭВА происходит с меньшей скоростью, причем наблюдается замедление разложения кристаллогидрата $MgO \cdot H_2O$ в полимерной матрице.

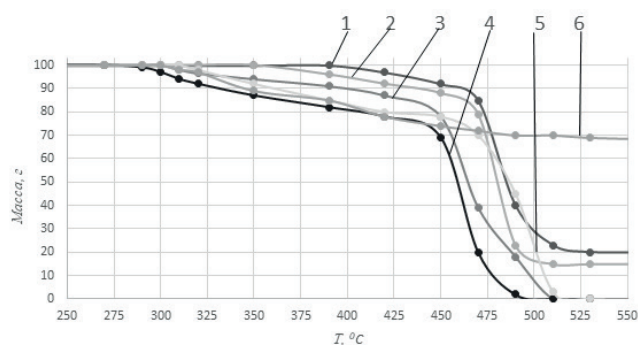


Рис. 4. Термогравиметрические кривые для композиций АПК-1 (1), АПК-2 (2), полимерной матрицы ПЭ+СЭВА (3), ПЭ (4), СЭВА (5), $MgO \cdot H_2O$ (6).

В табл. 5 приведены данные по процессу термического разложения композиций АПК-1 и АПК-2, а также $MgO \cdot H_2O$, ПЭ, СЭВА и ПЭ+СЭВА.

Можно отметить, что температура начала разложения для композиций АПК-1 и АПК-2 на 55–100 °С превышает значения температур для полимерных матриц. Для композиций АПК-1 и АПК-2 характерно образование коксового остатка – 15 и 20% масс. соответственно.

Таблица 5. Основные характеристики термического разложения $MgO \cdot H_2O$, полимерных композиций, матрицы ПЭ+СЭВА и ее составляющих

Характеристики	$MgO \cdot H_2O$	ПЭ	СЭВА	ПЭ+СЭВА	АПК-1	АПК-2
Температура начала разложения, °С	320	290	320	320	375	390
Температура эндотермического пика, °С	420	335	380	370	400	410
Температура полного разложения, °С	480	475	500	500	500	510
Температурный интервал разложения, °С	160	140	170	180	125	120
Коксовый остаток, масс. %	67.09	0.01	0.01	0.01	15	20

Исходя из приведенных данных можно сделать вывод, что введение наполнителя-антипирена на основе кристаллогидрата $MgO \cdot H_2O$ марки Фрамитекс 10-97 В1 (ТУ 2133-011040705684-2005) и Фрамитекс 10-97 К1 (ТУ 2133-011040705684-2005) повышает время термостабильности полимерной матрицы ПЭ+СЭВА примерно в 2 раза (с 8 до 19 мин при 230 °С).

Выводы

Получены полные кривые термостабильности для кабельных композиций на основе ПЭ+СЭВА и показано, что введение в их состав наполнителя-антипирена в виде кристаллогидрата $MgO \cdot H_2O$ приводит

Список литературы:

1. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов. М.: Химия, 1981. С. 12–48.

к повышению времени термостабильности примерно в 2 раза (с 8 до 19 мин при 230 °С), что позволяет их перерабатывать при температурах 190–230 °С методами экструзии и литья под давлением практически без термодеструкции.

По данным термогравиметрического анализа также установлено, что введение кристаллогидратов $MgO \cdot H_2O$ способствует повышению термостойкости кабельных композиций на основе ПЭ+СЭВА, что позволяет их перерабатывать при высоких температурах (до 250 °С).

Результаты получены в рамках задания и финансирования компании ООО «Адитим».

References:

1. Katz G.S., Milevski D.V. Fillers for polymer composites. Moscow: Khimiya Publ., 1981. P. 12-48. (in Russ.)

2. Егоров А.Н. Влияние природы минеральных наполнителей на процессы горения полимерных материалов: дис. ... канд. хим. наук. Иркутск: ИрИХ СО РАН, 2004. С. 45–103.
3. Симонов-Емельянов И.Д., Кулезнев В.Н. Принципы создания композиционных материалов: учеб. пособие. М.: Изд-во МИХМ, 1986. 85 с.
4. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / под ред. А.А. Берлина: учеб. пособие: 3-е изд. СПб.: Профессия, 2011. 560 с.
5. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Горение полимерных материалов. М.: Наука, 1981. С. 23–87
6. Чалый В.П. Гидроокиси металлов (Закономерности образования, состав, структура и свойства). Киев: Наукова думка, 1972. 158 с.
7. Todor D.N. Thermal Analysis of Minerals. Kent, UK: Abacus Press, Tunbridge Wells, 1976. 256 p.
8. Li Z., Qu B. Flammability characterization and synergistic effects of expandable graphite with magnesium hydroxide in halogen-free flame-retardant EVA blends // *Polymer Degradation and Stability*. 2003. V. 81. № 3. P. 401–408.
9. Weil E.D., Levchik S.V. Fire protective and flame retardant coatings: A state of the art of review // *J. Fire Sci.* 2011. V. 29. P. 259–296.
10. Hollingbery L.A., Hull T.R. The thermal decomposition of huntite and hydromagnesite. A review // *Thermochim. Acta*. 2010. V. 509 (12). P. 1–11.
11. Beck C.W. Differential thermal analysis curves of carbonate minerals // *Am. Mineral.* 1950. V. 35. P. 985–1013.
12. Laoutid F., Lorgouilloux M., Bonnaud L., Lesueur D., Dubois P. Fire retardant of halogen-free calcium based hydrated minerals // *Polymer Degradation and Stability*. 2017. V. 136. P. 87–97.
13. Faust G.T. Huntite, $Mg_3Ca(CO_3)_4$, a new mineral // *Amer. Mineralogist*. 1953. V. 38. P. 4–24.
14. Kangal O., Guney A. A new industrial mineral: Huntite and its recovery // *Miner. Eng.* 2006. V. 9(4). P. 376–378.
15. Qin J., Wang N., Liu N., Li L. Synergistic effect of modified expanded graphite and zinc borate on the flammability, thermal stability and crystallization behavior of LLDPE/EVA composites with $Mg(OH)_2/Al(OH)_3$ // *Polymer Composites*. 2018. Aug. DOI: 10.1002/pc.24956.
16. Aziz A.A., Alauddin S.M., Salteh R.M., Shueb M.I. The thermal properties of nano magnesium hydroxide blended LDPE/EVA/Irganox 1010 for insulator application // *Int. J. Aerospace and Mechan. Eng.* 2014. V. 8. № 12. P. 1424–1428.
2. Egorov A.N. Influence of the nature of mineral fillers on the combustion processes of polymeric materials: thesis ... Ph.D. (Chem.). Irkutsk, 2004. P. 45–103. (in Russ.)
3. Simonov-Emelyanov I.D., Kuleznev V.N. Principles of creation of composite materials. Moscow: MIHM Publ., 1986. 85 p. (in Russ.)
4. Kerber M., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. Polymeric composite materials: structure, properties, technology: 3rd edition. Ed. by A.A. Berlin. Saint Petersburg: Professiya Publ., 2008. 560 p. (in Russ.).
5. Aseeva R.M., Zaikov G.E. Combustion of polymeric materials. Moscow: Nauka Publ., 1981. P. 23–87. (in Russ.)
6. Chaly V.P. Metal hydroxides (Patterns of formation, composition, structure and properties). Kiev: Naukova dumka Publ., 1972. 256 p. (in Russ.)
7. Todor D.N. Thermal Analysis of Minerals. Kent, UK: Abacus Press, Tunbridge Wells, 1976. 256 p.
8. Li Z., Qu B. Flammability characterization and synergistic effects of expandable graphite with magnesium hydroxide in halogen-free flame-retardant EVA blends. *Polymer Degradation and Stability*. 2003; 81(3): 401–408.
9. Weil E.D., Levchik S.V. Fire protective and flame retardant coatings: A state of the art of review. *J. Fire Sci.* 2011; 29: 259–296.
10. Hollingbery L.A., Hull T.R. The thermal decomposition of huntite and hydromagnesite. A review. *Thermochim. Acta*. 2010; 509(12): 1–11.
11. Beck C.W. Differential thermal analysis curves of carbonate minerals. *Am. Mineral.* 1950; 35: 985–1013.
12. Laoutid F., Lorgouilloux M., Bonnaud L., Lesueur D., Dubois P. Fire retardant of halogen-free calcium based hydrated minerals. *Polymer Degradation and Stability*. 2017; 136: 87–97.
13. Faust G.T. Huntite, $Mg_3Ca(CO_3)_4$, a new mineral. *Amer. Mineralogist*. 1953; 38: 4–24.
14. Kangal O., Guney A. A new industrial mineral: Huntite and its recovery. *Miner. Eng.* 2006; 9(4): 376–378.
15. Qin J., Wang N., Liu N., Li L. Synergistic effect of modified expanded graphite and zinc borate on the flammability, thermal stability and crystallization behavior of LLDPE/EVA composites with $Mg(OH)_2/Al(OH)_3$. *Polymer Composites*. 2018; Aug. DOI: 10.1002/pc.24956.
16. Aziz A.A., Alauddin S.M., Salteh R.M., Shueb M.I. The thermal properties of nano magnesium hydroxide blended LDPE/EVA/Irganox 1010 for insulator application. *Int. J. Aerospace and Mechan. Eng.* 2014; 8(12): 1424–1428.

Об авторах:

Сватиков Антон Юрьевич, инженер-технолог компании ООО «Адитим» (117342, Россия, Москва, ул. Бутлерова, д. 17, комн. 115).

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86).

About the authors:

Anton Yu. Svatikov, Engineer and Technologist of the Company LLC “Aditim” (17, Butlerova st., Moscow 117342, Russia).

Igor D. Simonov-Emelyanov, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Chair of Chemistry and Technology of Plastics and Polymer Composites Processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia).

Для цитирования: Сватиков А.Ю., Симонов-Емельянов И.Д. Термическая стабильность полимерных кабельных композиций с наполнителем-антипиреном // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2018. Т. 13. № 6. С. 35–41. DOI: 10.32362/2410-6593-2018-13-6-35-41

For citation: Svatikov A.Yu., Simonov-Emelyanov I.D. The thermal stability of polymer cable compounds with a flame-retarding filler. *Tonkie khimicheskie tekhnologii / Fine Chemical Technologies*. 2018; 13(6): 35-41. DOI: 10.32362/2410-6593-2018-13-6-35-41